



## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 303 196 5

(22) 27.05.87

(44) 26.10.88

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Elßner, Karl-Edmund, Dr.-Dipl.-Phys.; Grzanna, Jürgen, Dr. Dipl.-Math.; Schwider, Johannes, Dr. Dipl.-Phys.; Spolaczky, Reiner, Dr. Dipl.-Phys., DD

## (54) Anordnung zur interferometrischen Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen

(55) Mach-Zehnder-Interferometer, Laserlichtquelle, Strahlenteiler-Hologramm, Reflexion, Transmission, Matrixempfänger, Rechner  
 (57) Die Erfindung ist anwendbar zur automatischen interferometrischen Ebenheitsprüfung reflektierender glatter technischer Oberflächen, beispielsweise Halbleiterscheiben. Die erfindungsgemäße Anordnung verwendet ein von einem Prüflingsarm und einem Referenzarm gebildetes Mach-Zehnder-Interferometer sowie eine Laserlichtquelle (L) mit nachgeschaltetem Aufweitungssystem (AS<sub>1</sub>). Ein dem Aufweitungssystem (AS<sub>1</sub>) nachgeordnetes erstes Hologramm (H<sub>1</sub>), das sowohl in Reflexion als auch in Transmission benutzt wird, überführt den divergenten Strahlengang in einen Parallelstrahlengang und teilt ihn in Prüflings- und Referenzstrahlengang auf. Ein in der Ebene des ersten Hologramms (H<sub>1</sub>) angeordnetes identisches zweites Hologramm (H<sub>2</sub>) vereinigt den von einem Spiegel (S<sub>1</sub>) reflektierten Referenzstrahlengang mit dem Prüflingsstrahlengang zum konvergenten Beobachtungsstrahlengang, in dem ein Abbildungssystem (AS<sub>2</sub>) und nachfolgend ein Matrixempfänger (MA) angeordnet sind. Der Matrixempfänger (MA) ist mit einem Rechner (RE) verbunden, der einen Translator (TR) steuert zur Verschiebung des Spiegels (S<sub>1</sub>) in Richtung seiner Flächennormalen. Fig. 1

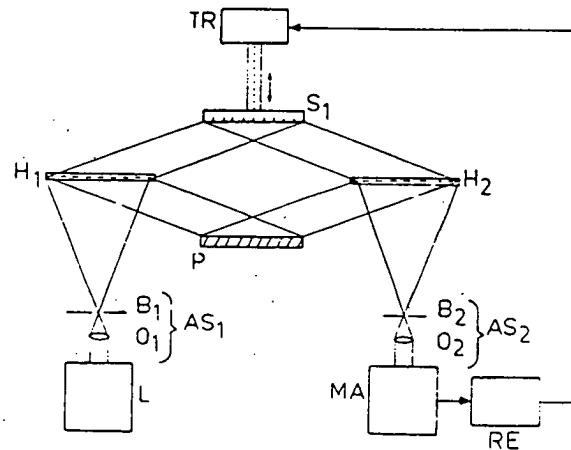


Fig. 1

**Patentansprüche:**

1. Anordnung zur interferometrischen Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen unter Anwendung eines von einem Prüflingsarm und einem Referenzarm gebildeten Mach-Zehnder-Interferometers, mit einem Laser als Lichtquelle, dem ein Aufweitungssystem mit Lochblende zur Erzeugung eines divergenten Strahlenganges nachgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß sich hinter dem Aufweitungssystem (AS<sub>1</sub>) ein erstes Hologramm (H<sub>1</sub>) befindet, das so beschaffen ist, daß der vor dem Hologramm (H<sub>1</sub>) divergente Strahlengang nach dem Hologramm (H<sub>1</sub>) zum Parallelstrahlengang wird und gleichzeitig der Strahlengang in einen Referenz- und einen Prüflingsstrahlengang aufgeteilt wird, wobei das Hologramm (H<sub>1</sub>) für den einen Strahlengang in Transmission und für den anderen Strahlengang in Reflexion benutzt wird, daß der Referenzstrahlengang nach dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) einen Spiegel (S<sub>1</sub>) enthält, dessen Flächennormale zu der des ersten Hologramms (H<sub>1</sub>) parallel ist und mit einem zweiten Hologramm (H<sub>2</sub>) abschließt, das identisch dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) und mit diesem in einer Ebene so angeordnet ist, daß der Strahlengang nach dem Spiegel S<sub>1</sub> das zweite Hologramm H<sub>2</sub> trifft, daß der Prüflingsstrahlengang nach dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) den Prüfling (P), dessen Flächennormale zu der des ersten Hologramms (H<sub>1</sub>) parallel ist, und ein weiteres Hologramm (H<sub>2</sub>) enthält, das den nach dem Prüfling in Richtung von dessen Reflexionswinkel verlaufenden Prüflingsstrahlengang abschließt und diesen mit dem Referenzstrahlengang zum Beobachtungsstrahlengang vereinigt, wobei der bisher parallele Strahlengang zu einem konvergenten Strahlengang wird, daß im Beobachtungsstrahlengang ein Abbildungssystem (AS<sub>2</sub>) und ein Matrixempfänger (MA) angeordnet sind, wobei der Prüfling (P) möglichst scharf in die Ebene des Matrixempfängers (MA) abgebildet wird, daß der Ausgang des Matrixempfängers (MA) mit einem Rechner (RE) verbunden ist und ein vom Rechner (RE) steuerbarer Translator (TR) vorgesehen ist zur Verschiebung des Spiegels (S<sub>1</sub>) in Richtung seiner Flächennormale.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein durchstimmbarer Laser zur Variation der Nachweisempfindlichkeit vor das Interferometer geschaltet wird und Referenzspiegel und Prüfling in Richtung ihrer Normalen verschiebbar sind.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein partiell kohärenter Laser als Lichtquelle verwendet wird.
4. Anordnung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Hologramme für eine erste Beugungsordnung in Reflexion und in Transmission geblazt sind.
5. Anordnung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hologramme derart ausgelegt sind, daß die Fehler der Wellenfronten, die durch die Anordnung entstehen, kompensiert werden.
6. Anordnung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang vor dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) eine  $\lambda/2$ -Platte zur Anpassung der Polarisationsrichtung des Laserlichtes an das Hologramm angeordnet ist.
7. Anordnung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich vor dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) und nach dem zweiten Hologramm (H<sub>2</sub>) je ein Objektiv befindet, das so beschaffen ist, daß der nach dem Aufweitungssystem (AS<sub>1</sub>) divergente Strahlengang schon vor dem ersten Hologramm (H<sub>1</sub>) parallel wird und daß der Strahlengang hinter dem zweiten Hologramm (H<sub>2</sub>) zunächst noch parallel sein kann und erst hinter dem Objektiv konvergent ist, so daß sich die Hologramme im parallelen Strahlengang befinden.
8. Anordnung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Translator (TR) zur Verschiebung des Prüflings in Richtung seiner Flächennormalen vorgesehen ist und gleichzeitig Referenzspiegel und Hologrammträger zu einem Glasblock zusammengefaßt sind.
9. Anordnung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Hologrammträger bezüglich des hindurchgehenden und des reflektierten Bündels symmetrisch gestaltet ist.
10. Anordnung nach Anspruch 1 bis 6 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Hologrammträger eine sphärische Fläche zum Eintritt des divergenten bzw. zum Austritt des konvergenten Bündels hat, deren Krümmungsmittelpunkt im jeweiligen Fokus liegt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind bereits eine Reihe von Verfahren und Anordnungen zur interferometrischen Vermessung von ebenen Oberflächen bekannt. Bekannt ist ein Gitterinterferometer, mit dessen Hilfe sich die effektive Wellenlänge bei der Prüfung beträchtlich vergrößern läßt. Einem Streifenabstand entsprechen Abweichungen von der Größe Gitterkonstante/2 (Birch, K. G. Journal of Physics E., Scientific Instruments 6 [1973] S. 1045).

Der Nachteil dieser Anordnung besteht in dem Problem der projektiven Verzerrung der Objektoberfläche. Bei einem anderen bekannten Gitterinterferometer zur Ebenheitsprüfung von Siliziumscheiben wird das Licht von zwei benachbarten Beugungsordnungen, die beide unter verschiedenen Winkeln auf das Objekt gelangen, zur Interferenz gebracht (Järisch, W., Feinwerktechnik und Meßtechnik 83 [1975] S. 199; DE-AS 2636211/ G01B, 9/02).

Da der Gangunterschied von dem Winkel abhängt, unter dem das Licht das Interferometer durchläuft, ergeben sich bei der Überlagerung durch die Differenzbildung der Phasen bedeutende Variationsmöglichkeiten der topographischen Empfindlichkeit. Störend wirken hier Mehrfachüberlagerungen durch den Einfluß von anderen Beugungsordnungen und ähnliche projektive Verzerrungen wie bei der erstgenannten bekannten Anordnung.

Bekannt ist auch eine als „Interferoscope“ bezeichnete Anordnung zur Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen, z.B. Stahlflächen, bei der die Wellenlängenvergrößerung ebenfalls durch streifende Inzidenz erzeugt wird (Abramson, N., Optik 20 [1969] S. 56).

In dieser Anordnung wird ein 90°-Prisma verwendet, dessen Hypotenuse als Referenzfläche in einem Fizeauinterferometer benutzt wird. Das Licht fällt unter etwa 45° auf die Hypotenuse des Prismas und tritt nahezu streifend aus dieser aus.

Nach Reflexion an der Prüflingsoberfläche tritt das Licht in das Prisma wieder ein und verläßt dieses unter 45° zur Hypotenuse senkrecht zur Kathete des Prismas. Durch die Berechnung wird der Bündelquerschnitt anamorphotisch verzerrt und bei Wiedereintritt wieder entzerrt.

Der Projektionsfehler beträgt daher nur  $\sqrt{2}$  und nicht z.B. 10. Dies kann als eindeutiger Vorteil gegenüber den bisher genannten Lösungen angeführt werden, da dadurch z.B. eine photoelektrische Erfassung vereinfacht bzw. erst ermöglicht wird.

Nachteilig ist, daß das Interferogramm ein Mehrstahlinterferogramm ist, wobei von der Dicke des Luftspaltes zwischen Prisma und Prüfling abhängige unsymmetrische Interferenzstreifen auftreten können. Weiterhin ist die effektive Wellenlänge  $\lambda$  eine Funktion der Einfallswinkel und der Brechzahlen des Prismas und der Luft. Zwar ist die effektive Wellenlänge in weiten Grenzen wählbar, jedoch tritt dann das Problem auf, daß bei automatischer Erfassung der Interferenzbilder nach bekannten Verfahren (Bruning et al., Appl. Opt. 13 [1974] 2693; s.a. Gallagher, J. E. u. Herriott, D. R., DD-PS 96779/G01N, 21/46) die Verschiebung des Referenzspiegels jeweils in weiten Grenzen angepaßt werden muß, da die Referenzphase um eine volle Periode ( $2\pi$ ) durchgestimmt werden muß.

Es ist bereits eine Anordnung zur interferometrischen Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen bekannt (DD-PS 219565, G01B, 9/02), die auf dem „Interferoskop“ (Abramson) aufbaut, aber einerseits durch optische Filterung den störenden Einfluß von Mehrstrahlinterferenzen vermeidet und andererseits durch ein spezielles nachgeschaltetes Moiré-Interferometer die Lösung für elektronische Auswertung zugänglich macht. Die für die automatische Auswertung erforderliche Phasenschiebung läßt sich dabei durch Translation eines niederfrequenten Gitters im nachgeschalteten Moiré-Interferometer in der Gitterebene senkrecht zu den Gitterlinien erreichen.

Nachteilig bei dieser Lösung ist eine anamphotische Verzerrung des Prüflings.

Bei einer weiteren bekannt gewordenen Anordnung (DD-PS 233644, G01B, 9/02) wird ein von einem Prüflingsarm und einem Referenzarm gebildetes Mach-Zehnder-Interferometer angewendet, in dessen Prüflingsarm zwischen Strahlenteiler und Prüfling und zwischen Prüfling und Strahlenvereiniger je ein Beugungsgitter zur Beseitigung der anamphotischen Verzerrung angeordnet ist. Nachteilig bei dieser Lösung sind die Erschütterungsempfindlichkeit, bedingt durch den weit aufgefächerten Strahlengang, und der relativ große apparative Aufwand. Dieser ist bedingt durch die relativ große Zahl erforderlicher Einzelbauelemente wie Kollimatorobjektiv und Abbildungsobjektiv großen Durchmessers und Strahlenteiler bei der Ausführung für kohärente Beleuchtung und zusätzlich weitere Bauelemente zum Gangunterschiedsabgleich und zur Wellenfrontfaltung bei der Ausführung für teilkohärente Beleuchtung.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine Anordnung zur interferometrischen Ebenheitsprüfung reflektierender technischer Oberflächen verfügbar zu haben, mit der im laufenden Prozeß eine automatische Selektion von Werkstücken möglich ist, die den vorgegebenen Anforderungen an die Ebenheit nicht entsprechen.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein mit einem Rechner verbindbares Prüfinterferometer zur direkten Messung von Ebenheitsabweichungen an technischen Planflächen derart auszubilden, daß ein die Information über die Prüflingsfläche enthaltendes reines Zweistrahlerinterferogramm zur Auswertung bereitgestellt wird, ohne daß eine Anwendung komplexer Entzerrungsverfahren nötig ist und wobei die Erschütterungsempfindlichkeit und der apparative Aufwand erheblich verringert sind.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Anordnung unter Anwendung eines von einem Prüflingsarm und einem Referenzarm gebildeten Mach-Zehnder-Interferometer, mit einem Laser als Lichtquelle, dem ein Aufweitungssystem mit Lochblende zur Erzeugung eines divergenten Strahlenganges nachgeschaltet ist, und die erfindungsgemäß in nachstehend beschriebener Weise ausgebildet ist. Hinter dem Aufweitungssystem befindet sich im divergenten Strahlengang ein erstes holografisch-optisches Element (im folgenden Hologramm genannt), das so beschaffen ist, daß der vor dem ersten Hologramm divergente Strahlengang zum Parallelstrahlengang wird. Gleichzeitig wird der Strahlengang in einen Referenz- und einen

kollimierendes optisch-holografisches Bauelement. Der Referenzstrahlengang enthält einen Referenzspiegel und schließt mit einem zweiten Hologramm ab, das eine identische Kopie des ersten Hologramms ist. Der Prüflingsstrahlengang enthält den Prüfling und schließt mit demselben zweiten Hologramm ab, das so den parallelen Prüflings- und den parallelen Referenzstrahlengang zum konvergenten Beobachtungsstrahlengang vereinigt.

Der Beobachtungsstrahlengang enthält ein Abbildungssystem und einen Matrixempfänger. Als Matrixempfänger können in an sich bekannter Weise CCD-Matrizen, Dioden-Matrizen oder digitalisierte Vidikons eingesetzt werden. Der Prüfling ist möglichst scharf in die Ebene des Matrixempfängers abzubilden. Der Ausgang des Matrixempfängers ist mit einem Rechner verbunden zur Verarbeitung der gewonnenen elektrischen Signale. Die Anordnung enthält ferner einen Phasenschieber. Das ist beispielsweise ein Translator, der vom Rechner gesteuert wird und mit dem Referenzspiegel gekoppelt ist, so daß dieser in Richtung seiner Normalen verschoben werden kann.

Zur Variation der Nachweisempfindlichkeit können ein durchstimmbarer Laser vor das Interferometer geschaltet und Prüfling und Referenzspiegel in Richtung ihrer Normalen verschiebbar angeordnet werden.

Nachstehend soll die Funktionsweise der erfundungsgemäßen Anordnung beschrieben werden.

Das Licht des Lasers durchsetzt das Aufweitungssystem und verläßt dieses als räumlich gefiltertes, divergentes Bündel. Das Bündel trifft dann auf das erste Hologramm, wobei es zum Parallelstrahlenbündel gemacht wird und zugleich in mehrere Transmissions- und mehrere Reflexions-Beugungsordnungen aufgespalten wird.

Ein solches Hologramm läßt sich mit den an sich bekannten holografischen Methoden (s. z. B. Collier, R.J.; Burchhardt, C.B.; Lin, L.H.: Optical Holography, New York 1971) als synthetisches oder als optisch erzeugtes Hologramm herstellen. Durch geeignete Herstellung läßt sich auch erreichen, daß lediglich ein Transmissions- und ein Reflexionsbündel erster Ordnung unter — absolut gesehen — gleichen, sehr großen Beugungswinkel das Hologramm verlassen, wobei sie anamorphotisch verzerrt werden. Die bei der Herstellung des Hologramms zu beachtenden Besonderheiten werden weiter unten beschrieben. Die anamorphotisch verzerrten Bündel im Prüflings- bzw. im Referenzstrahlengang fallen dann schräg auf den Prüfling bzw. auf den Referenzspiegel, so daß ein Querschnitt von der Form des ursprünglichen Bündelquerschnitts getroffen wird, obwohl die Bündel schräg auffallen. Die reflektierten, den Prüfling bzw. den Referenzspiegel schräg verlassenden Bündel gelangen schräg auf das zweite Hologramm. Dabei wird der ursprüngliche, unverzerrte Bündelquerschnitt wieder hergestellt und die beiden Bündel werden in Reflexion bzw. in Transmission zu einem konvergenten Bündel gemacht und gleichzeitig zum Beobachtungsbündel vereinigt.

Das Beobachtungsbündel wird mit dem Matrixenempfänger detektiert.

Mit dem Phasenschieber im Referenzstrahlengang können verschiedene, beispielsweise vier äquidistante und eine Periode des Interferenzbildes überstreichende Referenzphasenwerte eingestellt werden. Das ist für die Berechnung der Ebenheitsabweichungen aus den Intensitätswerten nach deren A/D-Wandlung und Übernahme in einen Rechner, der zugleich die Einstellung der Referenzphasenwerte steuert, notwendig.

Zur Anpassung der Nachweisempfindlichkeit an die zu messenden Prüflingsabweichungen muß der Prüfling unter schräger Inzidenz beleuchtet werden. Dazu werden die Hologramme je nach geforderter Empfindlichkeit gewählt. Meistens wird der Prüfling unter nahezu streifender Inzidenz beleuchtet werden, so daß eine Gitterkonstante  $g$ , wenig größer als die benutzte Lichtwellenlänge  $\lambda$ , erforderlich ist.

Bekanntlich gilt bei senkrechter Inzidenz für den Beugungswinkel  $a$

(1)

$$g \sin a = \lambda$$

Für die effektive Streifenverschiebung ist die Gangunterschiedsvariation  $\Delta G$  aufgrund der Flächenabweichung  $\Delta z(x, y)$  maßgebend.

Es gilt

(2)

$$\Delta G = 2 \Delta z(x, y) \cos a$$

Mit  $\Delta g = m \lambda$  folgt:

(3)

$$\Delta z(x, y) = m \lambda / 2 \cos a$$

Im Vergleich mit senkrechter Inzidenz ( $a = 0$ ) ergibt sich eine effektive Wellenlänge

(4)

$$\lambda^* = \lambda / \cos a$$

Deshalb entspricht der Verschiebung um einen Streifen eine bedeutend größere Flächenabweichung  $\Delta z$  als bei senkrechter Inzidenz. Das aber wird für die Prüfung technischer Planflächen mit Abweichungen  $\Delta z$  von einigen  $\mu\text{m}$  gerade benötigt. Vorteilhafterweise läßt sich bei gegebener Gitterkonstante  $g$  das Interferometer mit einem durchstimmbaren Laser koppeln. Dadurch ergibt sich gem. Gl. (1) eine Variationsmöglichkeit für  $a$ :

(5)

$$\sin a = \lambda_{\text{variabel}} / g$$

Je nach Vorzeichen der Wellenlängenänderung  $\Delta \lambda$  ergibt sich eine Vergrößerung ( $\Delta \lambda > 0$ ) oder Verringerung ( $\Delta \lambda < 0$ ) der effektiven Wellenlänge  $\lambda^*$ .

Um den Empfindlichkeitsbereich  $1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$  zu überdecken reicht  $|\Delta \lambda| < 50 \text{ nm}$  aus. Bekanntlich hat ein Strahlenbündel nach einem Hologramm Aberrationen, wenn sich die Wellenlänge von der unterscheidet, die bei der Herstellung des Hologramms zugrunde gelegt worden ist (s. z. B. Collier, R.J.; C. B. Burckhardt; L. H. Lin, loc. cit. S. 78). Im vorliegenden Fall sind das in erster Linie sphärische Aberration und Defokussierung. Beide können aber bei geringen Wellenlängenvariationen praktisch vernachlässigt werden. Auch die Anwendung von partiell kohärenten Lasern (z. B. Halbleiterlasern) ist ohne zusätzlichen Aufwand möglich, da anordnungsgemäß der Gangunterschied abgeglichen und Wellenfrontfaltung vermieden ist.

als Prüfling) gewinnbar. Nach Speichern dieser Kalibrierungswerte können beliebige Flächen relativ zu einem Planspiegel geprüft werden. Eine andere Möglichkeit zur Kalibrierung bietet die optische Herstellung des zweiten Hologramms, wenn dafür in an sich bekannter Weise (s. z. B. Collier, R. J.: et. al. loc. cit.) die mit den Fehlern der Anordnung behaftete, nahezu ebene Welle und eine fehlerfreie Kugelwelle herangezogen werden.

Bei der synthetischen oder optischen Herstellung der Hologramme sind einige Besonderheiten zu beachten. So ist es vorteilhaft, wenn die Hologramme für jeweils nur eine (positive oder negative) Beugungsordnung gebildet sind. Höhere als erste

Beugungsordnungen kommen wegen des sehr großen Beugungswinkels ohnehin nicht vor. Bei der optischen Herstellung ist darauf zu achten, daß die Polarisationsrichtung des benutzten Laserlichtes den für größten Kontrast richtigen Winkel mit der Ebene bildet, in der die optische Achse der Anordnung liegt (s. z. B. Collier, R. J.; et. al., loc. cit. p. 158).

Der richtige Polarisationswinkel ist in derselben Weise auch beim Betrieb der Anordnung als Meßinstrument zu beachten. Weiter ist zu beachten, daß praktisch die Dicke des Hologrammträgers nicht vernachlässigt werden kann. Hindurchgehendes und reflektiertes Bündel sollen das Hologramm aber symmetrisch zur Hologrammebene verlassen, um einen abgeglichenen Strahlengang zu gewährleisten. Deshalb muß auch der Hologrammträger symmetrisch zur Hologrammebene gestaltet werden. So kann man z. B. das auf einem Glaskörper, etwa einer Glasplatte, als Träger befindliche Hologramm mit einer zweiten, in der Dicke angepaßten Glasplatte bedecken. Auch Glaskörper anderer Form sind möglich. Zum Beispiel können die Flächen der Glaskörper des Hologramms  $H_1$ , durch die die Bündel austreten, und die des Hologramms  $H_2$ , durch die sie eintreten, ebene Flächen sein, deren Normale die Richtung der optischen Achse haben.

Weiter ist es zweckmäßig, die Flächen der Glaskörper vor bzw. hinter Hologramm  $H_1$  bzw.  $H_2$ , durch die das divergente Bündel ein- bzw. das konvergente Bündel austritt, zur Vermeidung sphärischer Aberration sphärisch zu gestalten, wobei der Krümmungsmittelpunkt im Fokus des Bündels liegen muß.

### Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachstehend an vier Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den dazugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: die schematische Darstellung der erfindungsgemäß Anordnung mit einem Gaslaser als Lichtquelle,

Fig. 2: die schematische Darstellung einer anderen Anordnung nach der Erfindung mit je einem Objektiv vor dem ersten bzw. nach dem zweiten Hologramm,

Fig. 3: die schematische Darstellung einer anderen Anordnung nach der Erfindung, bei der Referenzspiegel und Hologrammträger zu einem Glasblock zusammengefaßt sind,

Fig. 4: die schematische Darstellung des symmetrisierten und aberrationsfreien Hologrammträgers.

Bei der Anordnung nach Fig. 1 folgt dem als Lichtquelle dienenden Gaslaser L im Strahlengang ein Aufweitungssystem AS<sub>1</sub>, bestehend aus Objektiv O<sub>1</sub> und Lochblende B<sub>1</sub>. Auf das Aufweitungssystem AS<sub>1</sub> folgt ein ebenes erstes Hologramm H<sub>1</sub> auf einem symmetrisierten Träger, das den Strahlengang in einen Referenz- und einen Prüflingsstrahlengang aufteilt und zugleich den divergenten Strahlengang zu Parallelstrahlengängen macht. Im Prüflingsstrahlengang folgen nach dem ersten Hologramm H<sub>1</sub> der Prüfling P und das zweite Hologramm H<sub>2</sub>.

Die optische Achse des Prüflingsstrahlenganges hat vor dem ersten Hologramm H<sub>1</sub> die Richtung von dessen Flächennormalen, hinter dem Hologramm H<sub>1</sub> die Richtung der plus ersten reflektierten Beugungsordnung. Die Normale der Prüflingsfläche P ist der Normalen des Hologramms H<sub>1</sub> und des Hologramms H<sub>2</sub> parallel, so daß der Strahlengang hinter dem Prüfling P die Richtung des Reflexionswinkels hat, unter dem entsprechenden Winkel auf H<sub>2</sub> trifft, hinter H<sub>2</sub> aber wieder die Richtung der Flächennormalen dieses Hologramms hat und damit dem Strahlengang vor H<sub>1</sub> wieder parallel ist.

Im Referenzstrahlengang folgen nach dem ersten Hologramm H<sub>1</sub> der Referenzspiegel S<sub>1</sub> und dasselbe Hologramm H<sub>2</sub>. Die optische Achse des Referenzstrahlenganges hat hinter H<sub>1</sub> die Richtung der plus ersten Beugungsordnung in Transmission. Für die Normalen des Referenzspiegels S<sub>1</sub> und den Referenzstrahlengang gilt das beim Prüflingsstrahlengang Gesagte entsprechend. Hinter dem Hologramm H<sub>2</sub> sind ein Abbildungssystem AS<sub>2</sub>, bestehend aus Blende B<sub>2</sub> und Objektiv O<sub>2</sub> und ein Matrixfotodetektor MA angeordnet. Das Abbildungssystem ist so angeordnet, daß der Prüfling P möglichst scharf in die Ebene des Matrixfotodetektors MA abgebildet wird. Die Anordnung enthält darüber hinaus einen Translator TR (z. B. piezoelektrischen Geber) zur Einstellung der Referenzphase durch Verschiebung des Referenzspiegels S<sub>1</sub> in Richtung seiner Normalen und einen Rechner RE, der die Photosignale aus dem Matrixfotodetektor MA nach AD-Wandlung weiterverarbeitet und den Translator TR steuert.

Bei der Anordnung nach Fig. 2 ist dem Hologramm H<sub>1</sub> ein Objektiv O<sub>1</sub> vor-, dem Hologramm H<sub>2</sub> ein Objektiv O<sub>2</sub> so nachgeschaltet, daß zwischen Objektiv und Hologramm paralleler oder nahezu paralleler Strahlengang besteht. Dadurch geht zwar einer der Vorteile der erfindungsgemäß Anordnung im Vergleich zum Stand der Technik nämlich die Einsparung solcher Objektive großen freien Durchmessers, verloren, dafür wird aber die Herstellung der Hologramme vereinfacht, weil sie nicht mehr fokussieren müssen.

Bei der Anordnung nach Fig. 3 sind Referenzspiegel S<sub>1</sub> und Hologramm-Träger zu einem Glasblock G zusammengefaßt. Zur Einstellung der Referenzphase ist daher der Translator mit dem Prüfling und nicht, wie in Fig. 1, mit dem Referenzspiegel verbunden. Der Vorteil dieser Anordnung besteht in der größeren Kompaktheit und Stabilität, nachteilig ist die feste Zuordnung von Hologrammen und Referenzspiegel aber insofern, als die einfache Änderung der Nachweisempfindlichkeit durch Änderung der Laserwellenlänge nicht mehr möglich ist.

In Fig. 4 ist der Träger T<sub>1</sub> des Hologramms H<sub>1</sub> prismatisch gestaltet, so daß die Normale der ebenen Austrittsfläche des hindurchgehenden Bündels die Richtung der optischen Achse hat. Der abdeckende Glaskörper T<sub>2</sub> hat eine entsprechende Austrittsfläche für das reflektierte Bündel und eine sphärische Eintrittsfläche für das divergente Bündel vom Laser, deren Krümmungsmittelpunkt im Fokus liegt. Entsprechend ist auch der nicht dargestellte Träger des Hologramms H<sub>2</sub> gestaltet. Mit der erfindungsgemäß Anordnung lassen sich eine Reihe von Vorteilen erzielen.

Reflexion und in Transmission benutzt werden. Andernfalls läßt sich der zur Prüfung technischer Oberflächen mit sichtbarem Licht erforderliche streifende Einfall nicht realisieren.

Die Benutzung von Hologrammen erlaubt es auch, die Fehler der Anordnung durch entsprechende Herstellung der Hologramme zu kompensieren.

Dadurch kann eine solche Anordnung selbst bei größeren Fehlern nicht nur zur automatisierten Auswertung wie bei den bisher bekannten Lösungen, sondern auch zur visuellen Auswertung eingesetzt werden.

Die Wellenlänge durchstimmbarer Laser läßt sich auf einfache und relativ genaue Weise einstellen. Damit kann man ohne Änderung des interferometrischen Aufbaues die Nachweisempfindlichkeit variieren. Bei etwas veränderter Ausführungsform läßt sich für eine feste Nachweisempfindlichkeit eine besonders kompakte und stabile Anordnung aufbauen.

Dadurch, daß der Gangunterschied der Anordnung abgeglichen ist, lassen sich auch partiell kohärente Laser, z. B. Halbleiterlaser, ohne zusätzlichen apparativen Aufwand einsetzen. Diese Laser emittieren im nahen Infrarot (800–900 nm). Dort liegt das Empfindlichkeitsmaximum der Silizium-Empfänger und außerdem lassen sich Hologramme größerer Gitterkonstante, die leicht herstellbar sind, verwenden. Mit Halbleiterlasern ist in kleinen Volumina ausreichende Leistung (einige mW) erzeugbar. Der Abstimmungsbereich ( $\approx 10 \text{ nm}$ ) dieser Laser reicht für die vorliegenden Zwecke aus.

Das erfindungsgemäße Prüfinferometer, mit einem Rechner gekoppelt, erlaubt im laufenden Prozeß eine automatische Selektion von Werkstücken, die den vorgegebenen Anforderungen an die Ebenheit nicht entsprechen. Es ist insbesondere einsetzbar zur Prüfung von Halbleiterscheiben.

261422

6

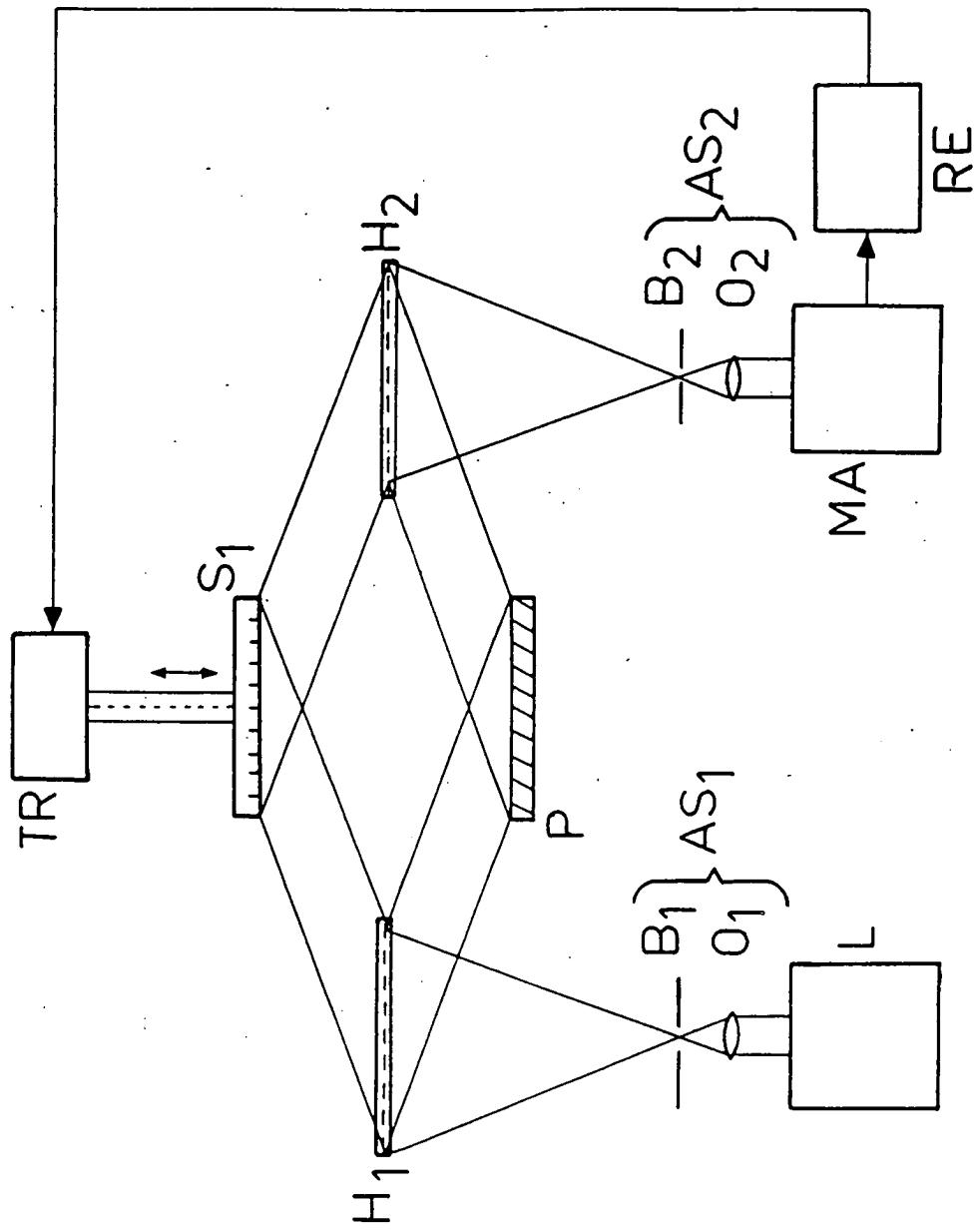


Fig. 1

Now

DEAK ★ S02

89-086403/12

★ DD -261-422-A

Interferometric system for automatic determination of smoothness - uses mach-zehnder interferometer with specimen and reference arms and laser source and expansion system, e.g. for semiconductor slices

AKAD WISSENSCHAFT DDR 27.05.87-DD-303196

U11 V07 (26.10.88) G01b-09/02

27.05.87 as 303196 (1686MO)

In the interferometer system, a hologram ( $H_1$ ) is connected to the expansion system ( $AS_1$ ) which is used for transmitting light. The divergent beam path is conveyed in a parallel beam path and split into test and reference beam paths. A second identical hologram ( $H_2$ ) formed in the plane of the first hologram ( $H_1$ ) combines the reference beam reflected from a mirror ( $S_1$ ) with the specimen beam for the convergent observation beam.

An imaging system ( $AS_2$ ) and a following matrix receiver ( $MA$ ) are arranged in the convergent beam path. The matrix receiver is connected to a computer ( $RE$ ), which controls a translator ( $TR$ ) for shifting the mirror ( $S_1$ ) in the direction of the surface normal.

USE/ADVANTAGE - Interferometric measurement of surface smoothness of objects e.g. semi-conductor slices. Gives automatic imaging. (2pp Dwg.No.1/1)

N89-065833

S2-A3A S2-A3B5

